

科学研究費補助金研究成果報告書

平成 22 年 6 月 21 日現在

研究種目：基礎研究（C）

研究期間：2007 ～ 2009

課題番号：19510098

研究課題名（和文） 小型漁船用PM（粒子状物質）低減装置の開発

研究課題名（英文） Development of PM reduction device for small sized fishing boat

研究代表者

前田 和幸 (MAEDA KAZUYUKI)

水産大学校・海洋機械工学科・教授

研究者番号：30399638

研究成果の概要（和文）：

本研究は、小型漁船から排出されるPMを低減するために、まずフィルタの捕集効果と再生に関する基礎実験を行った。次にその結果を基に、排気管に取り付けるタイプのフィルタ式PM低減装置を開発し、実験室のテスト機関及び実船に取り付けて性能試験を実施し、その効果を確認するとともに改良を行った。その結果、今回開発したPM低減フィルタはPM中の Soot 分はほぼ 100%除去でき、小型漁船から排出されるPMを半減できることが判明した。

研究成果の概要（英文）：

To decrease PM emission from small sized fishing boat, basic experiment about effect of reduction filter and its reproduction were carried out. Then based on the result, filter type PM reduction device of the type installed in the exhaust pipe was developed. The performance examinations were executed by installing it in the test engine and actual ship, the effect was confirmed and improved. As a result, it was clarified that the PM reduction device can remove dry soot in PM by 100 %, and PM emission from small sized fishing boat by half.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合 計
平成 19 年度	600,000	180,000	780,000
平成 20 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
平成 21 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総 計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学

キーワード：小型漁船用ディーゼル機関、PM（粒子状物質）、PM 低減装置、大気環境保全

1. 研究開始当初の背景

船舶から排出されるPM（粒子状物質）は、自動車用エンジンから排出されるPMと比べ、エンジンの大きさ、出力、回転数、使用

される燃料油等の違いから、その性状と排出特性が異なる。

自動車等の陸上で使用されるエンジンから排出されるPMは厳しい規制が行われて

おり、各研究機関において低減に関する研究も実施されている。これに対し、船舶から排出されるPMは、我が国においては現在のところ規制の対象となっていないため、一部の機関（組織）において排出実態の把握に関する研究が行われているのみである。

このような状況の下、漁船及び海上輸送用機関から排出されるPMの全体に対する割合は増加し続け、社会問題化する可能性がある。また、IMO等において規制が始まりつつあるが、現在のところ我が国では技術的な対応が出来ない状況である。

2. 研究の目的

小型漁船から排出されるPMを低減するために、排気管に取り付けるタイプのフィルタ式PM低減装置を開発し、この装置を実験室のテスト機関及び実船に取り付けてその効果を確認するとともに改良を行い、実用化を図る。

具体的には、

- (1)フィルタ材の選定：耐熱性のガラス繊維を予定しているが、実験によりその形状、面積等を検討する必要がある。なお、フィルタは同じものを2個並列に取り付け、一方がPMにより目詰まりをおこす前に、もう一方に切り替える方式とする。
- (2)排気系統にフィルタを設置することにより、エンジンの排気圧力が上昇する。これがエンジンの性能に与える影響を明らかにする必要がある。
- (3)フィルタを連続使用出来るように、2個並列に設置したフィルタの一方でPMを捕集している際に、もう一方は電気ヒータによりPMを焼却する方式とする。このため、小型漁船から排出されるPMの性状を明らかにするとともに、これを燃焼させるのに必要な温度と時間を明らかにする必要がある。
- (4)これらの基礎実験を経て、まず実験室に設置している小型漁船用ディーゼル機関（103kW）用PM低減装置を試作し、性能試験を行う。→ 必要に応じて改良
- (5)さらに、12トンの実験実習艇にこの装置を取り付け、性能試験を行う。→ 必要に応じて改良

3. 研究の方法

(1)フィルタ式PM低減装置に関する基礎実験（平成19年度）

- ①フィルタ材の選定とフィルタ部分の試作：耐熱性のガラス繊維を予定しているが、実験によりその材料、形状、面積等を検討する。なお、フィルタは同じものを2個並列に取り付け、一方がPMにより目詰まりをおこす前に、もう一方に切り替える方式とする。
- ②試作フィルタによるPM低減効果の確認：試作したフィルタを実験室に設置されたエ

ンジンの排気管に取り付け、フィルタ前後のPMを測定して低減効果を確認する。また、この際、フィルタの材質、形状、面積等と低減率の関係を明らかにする。

③フィルタの再生に関する実験フィルタを連続使用出来るように、2個並列に設置したフィルタの一方でPMを捕集している際に、もう一方は電気ヒータによりPMを焼却する方式とする。このため、炉内の温度を一定値に保持できる電気炉（購入）を用いて、フィルタに捕集されたPMを燃焼により消滅させるのに必要な温度と時間を明らかにする。

(2)PM低減フィルタの作製と実験室のエンジンによる実証試験（平成20年度）

①フィルタ設置による排気圧力の上昇がエンジン性能に及ぼす影響の確認排気系統にフィルタを設置することにより、エンジンの排気圧力が上昇する。これがエンジンの性能に与える影響を明らかにする。

②PM低減フィルタの最適化：この結果を基に、エンジンの性能に与える影響が少なく、かつ小型のPM低減フィルタの構造、形状等を検討する。

③PM再生用電気系統の最適化：フィルタの形状が決まったら、この周囲に設ける電気ヒータの構造、形状等を検討する。また、前年度に得た基礎実験の結果を基に、PMが消失すると自動的にヒータのスイッチが切れるような制御装置を作製する。

④フィルタ切り替えに関する部分の作製：フィルタ前後の差圧を検出し、これが前年度の基礎実験で得た値以上になると自動的にもう一方のフィルタに切り替わるような制御装置を作製する。

⑤この装置を実験室内のテスト機関に取り付け実証試験を行うとともに、必要な改良を行う。

(3)実船による実証試験（平成21年度）

この装置を実船に取り付け実証試験を行うとともに、必要な改良を行う。

4. 研究成果

本研究は、小型漁船から排出されるPMを低減するために、排気管に取り付けるタイプのフィルタ式PM低減装置を開発し、実験室のテスト機関及び実船に取り付けて、その効果を確認するとともに改良を行い、実用化を図ることを目的としている。

(1)平成19年度はフィルタ式PM低減装置の開発に関する基礎研究を行い、次のような結果を得た。

①フィルタ材の選定とフィルタ部分の試作：フィルタ材には、最高使用温度1260℃（融点1760℃）、平均繊維径 $2.8\mu\text{m}$ の耐熱材料を用いて、それを100メッシュのステンレス製ネットで挟む構造とした。図1にその構造を

示す。

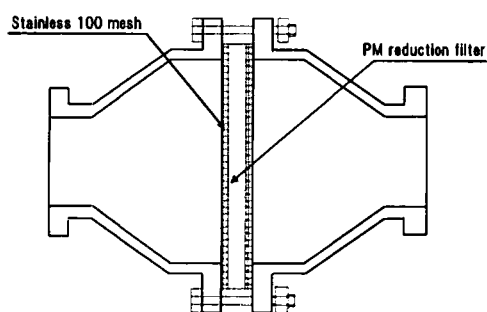


図1 PM試作フィルタの構造

②試作フィルタによるPM低減効果の確認：この試作フィルタを、希釈トンネル（PM捕集装置）の入口部分に取り付け、試作フィルタの有無によるPMの捕集量を比較したところ、負荷率25%において約23%、負荷率50%においては約48%、負荷率75%においては約57%のPM低減効果があった。また、試作フィルタを通過した排ガス中のPMを捕集し、PM中の成分をソックスレー抽出法により分析したところ、そのほとんどがSOF（有機溶剤可溶分）であった。このことより、試作したフィルタにより、PM中に含まれるほとんどのDry Sootが除去できる可能性があることを明らかにした。

③フィルタの再生に関する実験：本研究費により購入した、炉内の温度を設定した温度に保持できる電気炉を用いて、捕集フィルタ上のPMを燃焼により消滅させるのに必要な温度と時間を明らかにするための実験を行った。その結果、フィルタ上に捕集したPMの質量が約3mgの場合、負荷率25、50、75%のいずれにおいても、温度を800℃に保持した電気炉に約1分間入れることにより、ほとんど消滅した。図2に温度と時間によるフィルタの変化を示す。

Temp. [℃]	Time [sec]			
	0	60	180	420
600				
650				
700				
800				

図2 温度と時間によるフィルタの変化

これらの結果から、本実験に用いたフィルタ材を用いて燃焼炉を併せ持つPM低減フィルタ2組を作製し、これを排気管に並列に取り付け、一方が目詰まりをおこす前に切り替え、これを燃焼により消滅させることにより、小型漁船から排出されるPM中にふむまれるほとんどのDry Sootを除去できることが明らかになった。

(2)平成20年度は、最高使用温度1260℃、平均繊維径2.8μmの耐熱材料を50メッシュのステンレス製ネットで挟む構造の、寸法が250mm×215mmのPM低減フィルタを2組作製した。また、直径1.4mmのヒーター線を、直径6mm×長さ250mmのコイル状に巻き、これを14本横に並べた、寸法が250mm×250mmの平板状のPM再生用ヒーターを2組作製し、これらを一体化したPM低減装置を作製した。このPM低減装置を、実験室に設置された103kW、2400rpmの小型漁船用ディーゼル機関の排気管に取り付け、排気圧力の上昇がエンジン性能に及ぼす影響、PMの低減効果、PM低減フィルタの再生能力等を明らかにする実験を行った。図3にPM低減装置の構造を示し、図4に設置場所を示す。

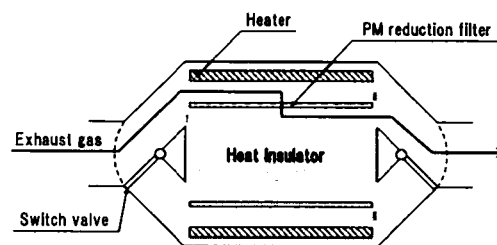


図3 PM低減装置の構造

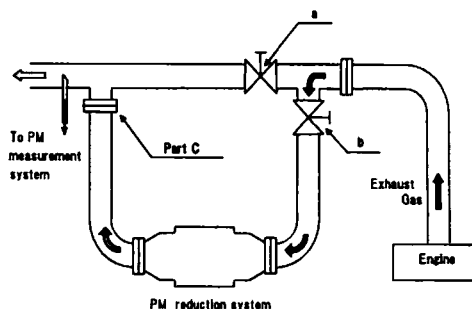


図4 PM低減装置の設置場所

その結果、次の事項が明らかになった。

- ①フィルタを設置することにより、排気圧力が0.14MPa上昇した場合、燃費が約5%悪化する。
- ②PM低減フィルタにより、排ガス中に含まれるDry Sootをほぼ100%捕集できる。図5

にPMの低減効果を示す。

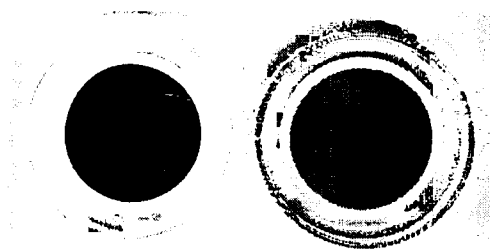


図5 低減装置によるPMの低減効果

③捕集後、排気の流れを遮断して（排気の経路を切り替えて）、PM低減装置の内部温度を800℃に2分間保つことにより、PM低減フィルタ上に捕集されたPMはほぼ100%消失する。

これらの結果から、本装置を小型漁船の排気管に取り付け、作動側フィルタが目詰まりを起こす前に切り替え、PM再生用ヒーターによって捕集されたDry Sootを燃焼により消滅させることによりフィルタが再生され、連続して使用できることが明らかになった。今後は、実船を用いた実証試験を行い必要な改良を行う必要があることが明らかになった。

(3)平成21年度は、まず、昨年度作製した最高使用温度1260℃、平均繊維径2.8μmの耐熱材料を、50メッシュのステンレス製ネットで挟む構造のPM低減フィルタとPM再生用ヒーターを一体化したPM低減装置を、実験室に設置された小型高速ディーゼル機関（103kW/2400rpm）に取り付け、実用化に向けた性能試験を実施した。その結果、PM中に含まれるSootはほぼ100%除去できるとともに、再生用ヒーターを用いて装置内部の温度を600℃以上にするによりSootを燃焼させ、繰り返し使用できることを確認した。しかし、温度上昇に比例して増加する装置からの放熱のため加熱エネルギーのロスが生じ、低減フィルタの周辺部にSootが残り性能が低下することが明らかとなった。次に、265kW/2200rpmの小形高速ディーゼル機関を装備する総トン数12トンの小型漁船と、3,900kW/210rpmの大形低速ディーゼル機関を装備する総トン数2,352トンの漁船を用いた実証試験を行った。この実験により、PM低減フィルタをそれぞれの排気管から希釈トンネルに至る排気トランスファラインに設置した場合の、PM低減フィルタの有無によるPM捕集量の違いと成分の違いを明らかにした。その結果、今回開発したPM低減フィルタはPM中のSoot分はほぼ100%除去できるが、SOF分とSulfate分は高温下においてはフィルタを抜けていくため、更なる改良が必要であることが明らかになった。以上の結果から、本研究により開発したPM低減

装置は、小型漁船から排出されるPMを半減できることが判明した。

(4)得られた成果の国内外における位置付けとインパクト、今後の展望

①研究当初の背景にも記載しているように、船舶から排出されるPM（粒子状物質）は、自動車用エンジンから排出されるPMと比べ、エンジンの大きさ、出力、回転数、使用される燃料油等の違いから、その性状と排出特性が異なる。このためJIS/ISOの規定では、硫黄分が0.8%以上の燃料油を用いたエンジンから排出されるPMの計測は困難とされている。PM低減装置を開発する場合、低減効果を明らかにするには、高精度の計測が不可欠となる。本研究では、2%以上の硫黄分を含むC重油にも適用可能な高精度のPM計測システムを用いているため、正確なPMの低減効果を明らかにすることが出来た。なお、当研究室で開発した高精度のPM計測システムは、平成21年4月20日に実施されたJIS 8001-1:2009の改正において、「硫黄分が0.8%を超える燃料にも適用できる計測例」の文献として記載された。これにより、C重油を使用する船舶を含む全ての船舶から排出されるPMの低減効果を高精度で確認できることになった。

②本システムは、小型漁船を対象に開発したが、燃料油成分の影響を受けないため、重質燃料油を使用する大形エンジンにも適用可能である。

③国内の学会においては、「日本マリンエンジニアリング学会」と「日本機械学会」の講演会において成果を発表している。今後は、これらの成果をまとめ、査読のある論文として各学会に投稿予定である。また、外国の学会においては、アメリカ機械学会等が主催する権威ある国際会議である「国際燃焼機関会議（3年に1回開催）」に論文を提出・受理され（論文はNo.で分類され、アメリカのEPAやJIS/ISO等の文献として使用される）、2010年の6月にノルウェーで開催された第26回大会において講演を行った。

④今後は、更に改良を重ねて小型漁船用としての製品化を図るとともに、大形船舶用への転用も検討する。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 1 件）

K. Maeda, K. Takasaki, G. Kon, M. Tsuda, M. Hori, PM Emission from Ships - How to measure and reduce PM during Voyage, 26th CIMAC June 14-17(2010), Bergen (Norway), 査読有、Paper No.87.

〔学会発表〕(計 4 件)

(1) 船用ディーゼル機関用PM低減装置の開発：前田和幸，津田 稔，堀 真知子：日本機械学会中国四国支部「第48期総会・講演会」，平成22年3月6日，広島工業大学（広島）。

(2) 船用ディーゼル機関用PM低減装置の開発に関する研究：前田和幸，堀 真知子，津田 稔，山西 大：日本マリンエンジニアリング学会第79回（平成21年）マリンエンジニアリング学術講演会，平成21年9月18日，メルパルク広島（広島）。

(3) 船舶用PM低減装置の開発に関する基礎的研究：前田和幸，津田 稔，堀 真知子：日本機械学会中国四国支部「第47期総会・講演会」，平成21年3月6日，山口大学工学部（山口）。

(4) 中・大型ディーゼル機関用PM計測システムの開発：津田 稔，前田和幸，堀 真知子，須藤信行：日本機械学会中国四国支部「第47期総会・講演会」，平成21年3月6日，山口大学工学部（山口）。

〔その他〕(計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

前田和幸（教授）

研究者番号：30399683

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

津田 稔（准教授）

研究者番号：00399643